

УДК 531

МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛНОВОЛНОВОГО ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.В. Мокшин, Д.В. Бережной

Аннотация

В работе рассматривается задача поиска подземного события. Предлагается метод локализации событий на основе полноволнового численного моделирования и максимума правдоподобия. Приводятся результаты восстановления события в условиях шума. **Ключевые слова:** метод максимального правдоподобия, поиска события, полноволновое численное моделирование

Введение. Задачи определения пространственного положения и момента возникновения подземного события в геологической среде очень важны в сейсмологии и для нефтегазовой отрасли в целом. Например, подобные проблемы возникают при технологии гидроразрыв платста (ГРП), когда на продуктивный пласт оказывается воздействие за счет подачи жидкости под высоким давлением. В результате, образуется трещина большой протяженности, сопровождающееся излучением упругих волн. Данное излучение может быть зафиксировано сейсмическими датчиками и использовано для локализации местоположения источников сейсмических событий, вызванных проведением ГРП, и позволяет оценить пространственно-временной характер развития трещин [1].

Задача локализации микросейсмических источников является хорошо известной в радиотехнике [2] задачей обнаружения сигналов при многоканальном приеме и решается разными методами. Применительно к задаче локализации источника микросейсм они обладают различной точностью локализации, устойчивостью к шумам и вычислительной сложностью. Наиболее часто для восстановления местоположения очагов микросейсм используется метод дифракционного суммирования и его разновидности, например, метод фокусирующего преобразования [3], позволяющий динамически отбраковывать наименее информативные сенсоры. Метод дифракционного суммирования относительно прост в реализации, однако, он плохо устойчив к поверхностным шумам. Известен также метод Time Reverse Modeling [4, 5], который по устойчивости к поверхностным шумам и точности локализации превосходит метод дифракционного суммирования [6].

Метод максимального правдоподобия. Из теории передачи сигналов известно, что наиболее эффективным методом является метод обнаружения сигналов на принципе максимума правдоподобия. Применительно к задаче поиска подземного сейсмического события максимального правдоподобия используется следующим образом. Для исследуемой зоны пространства, задается дискретная сетка с шагом 5-10 метров. Узлы этой сетки являются точками, в которых будет производиться восстановление интенсивности микросейсм. Для каждой такой точки рассчитывается форма импульса, пришедшая на каждый из сенсоров на дневной поверхности.

Далее, для каждого момента времени восстанавливается наиболее вероятная амплитуда микросейсмического события, произошедшего в этот момент. Расчет производится путем сопоставления модельных сигналов и полевых данных с подбором такой амплитуды микросейсмического события, при которой функция правдоподобия достигает максимума. Восстановленные в каждой точке сетки интенсивности образуют трехмерный динамический (развивающийся во времени) куб микросейсмических событий в исследуемой области.

В отличие от более простых методов, например, дифракционного суммирования, метод максимума правдоподобия требует знания формы сигнала, ожидаемого на сенсорах от микросейсмического события в той или иной точке, а не только времени первого вступления. Применяемые в дифракционном суммировании методы трассировки лучей в этом случае непригодны, и единственным методом позволяющим решить эту задачу является полноволновое численное моделирование.

Полноволновое численное моделирование позволяет рассчитать форму волны, пришедшей на сенсор в условиях геологии любой сложности, учитывая все возможные волны, образовавшиеся при прохождении сейсмического импульса от источника к приемнику, правильно учесть его геометрическое расхождение с учетом реальной траектории распространения в неоднородном пространстве.

Апробация. На разработанном программном комплексе была произведена апробация подхода. В среде с реальной скоростной характеристикой проводилось численное моделирование распространения сейсмической волны от модельного источника на глубине 1600 м. Модельные сигналы регистрировались на верхней поверхности модели в 40 точках, расположенных равномерно в пределах кольца с центром в гипоцентре источника.

На рис. 1 (слева) приведен результат восстановления сигналов в плоскости источника. Реальное местоположение источника - перекрестия осей. Рис. 1 (справа) отображает картину в случае добавления равномерно-распределенного шума к модельным сигналам. Уровень шума равен по уровню амплитуде импульса. Можно отметить, что наличие шума существенно не влияет на распознаваемость события.

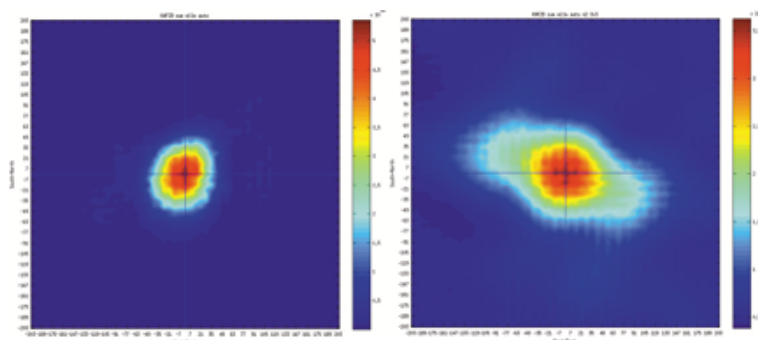


Рис. 1. Пример восстановления события без шума (слева), с шумом (справа)

Выводы. Проведенные исследования показали принципиальную возможность применения метода максимального правдоподобия для локализации сейсмических событий. Результаты численного моделирования показали, что метод устойчив к шуму.

Summary

E. V. Mokshin, D. V. Berezhnoj. Excellent noise immunity method of seismic emission location based on full-wave simulations applied for hydraulic fracture monitoring from daylight surface.

In this article considered the problem of localization underground source. This paper proposes a method of seismic emission location based on full-wave numerical simulations and maximum likelihood method. Article presents the results by localizations source in the conditions added noise.

Key words: maximum likelihood method, localization source, full-wave numerical simulations

Литература

1. Александров С.И., Гогоненков Г.Н., Мишин В.А. Применение пассивных сейсмических наблюдений для контроля параметров гидроразрыва пласта. – Нефть. хоз-во., 2005. – № 5. – С. 64–66.
2. Howland, P. E. Passive radar systems // IEE Proc. Radar Sonar Navig. – 2005. – V. 152, No 3. – P. 105–106.
3. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Волков А.В. Т. Сейсмическая локация очагов эмиссии – новая технология мониторинга добычи УВ. – Тезисы докладов Межд. Конф. EAGE, EAGO, SEG – С-Петербург, 2006.
4. Levin S.A. Principle of reverse-time migration // Geophysics 49. – 1984. – P. 581–583
5. Мокшин Е.В., Бережной Д.В., Бирыльцев Е.В.. Сопоставление метода "TIME REVERSE MODELING" и метода дифракционного суммирования // Научно-технический журнал "ЭКСПОЗИЦИЯ НЕФТЬ ГАЗ". – 2012. – Т 2, – С. 26–28.
6. Steiner B., Saenger E.H., Schmalholz S.M. Time reverse modeling of low-frequency microtremors: A potential method for hydrocarbon reservoir localization // Geophys. Res. Lett. – 2008. – V 35. L03307.

Мокшин Евгений Владимирович – аспирант К(П)ФУ

Бережной Дмитрий Валерьевич – к.ф.-м.н., доцент К(П)ФУ

E-mail: zhen-moks@yandex.ru